



УДК 621.313

РАСЧЕТ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ МАГНИТНОЙ ЦЕПИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С АСИММЕТРИЧНЫМ МАГНИТОПРОВОДОМ

CALCULATION OF THE SPATIAL EQUIVALENT SCHEME OF THE MAGNETIC CIRCUIT OF THE ASYNCHRONOUS MOTOR WITH AN ASYMMETRIC MAGNETIC CORE

Бакубаев Бауржан Турсынгалиевич, магистрант каф. «Электрические машины», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: b.bakubaev@yandex.ru, Тел.: +7(908)636-50-48

Денисенко Виктор Иванович, д-р. техн. наук, профессор каф. «Электрические машины», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: v.i.denisenko@urfu.ru.

Baurzhan B. Bakubaev, Master student, Department «Electrical machines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: b.bakubaev@yandex.ru. Ph+7(908)636-50-48

Viktor D. Denisenko, Doctor Sc., Prof., Department «Electrical machines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: v.i.denisenko@urfu.ru.

Аннотация: Картина магнитного поля в асинхронном двигателе с асимметричным магнитопроводом претерпевает значительные изменения. С увеличением пазового рассеяния возникает осевая составляющая магнитного потока. В данном докладе рассчитывается магнитная цепь с целью оценки величины осевой составляющей по отношению к основному магнитному полю и меры борьбы с ним.

Abstract: The picture of the magnetic field in the induction motor with an asymmetric magnetic core is undergoing significant changes. With increasing scattering occurs grooved axial component of the magnetic flux. The report calculated the magnetic circuit in order to assess the magnitude of the axial component relative to the main magnetic field and measures to combat it.

Ключевые слова: Асинхронный двигатель; магнитная цепь; схема замещения; осевой поток рассеяния.

Key words: Induction motor; a magnetic circuit; equivalent scheme; axial leakage flux.

ВВЕДЕНИЕ

Коллективом кафедры электрических машин УрФУ совместно с ЗАО «Уралэлектромаш» выполняется разработка опытного образца высоконадежного асинхронного двигателя с применением неорганической изоляции на основе керамических материалов для использования в экстремальных условиях воздействия радиационных полей и высоких температур.

Применение керамической изоляции требует применения простейшей формы катушек обмотки статора с минимальным изгибом провода при намотке, чтобы исключить возможность повреждения изоляции. Традиционная технология изготовления асинхронных двигателей с всыпными обмотками, выполненные по традиционной технологии изготовления статора, исключают возможность применения обмотки с

керамической изоляцией. В этом отношении наиболее целесообразно использовать конструкцию асинхронного двигателя с асимметричным магнитопроводом (АДАМ) [1].

Особенности конструкции АДАМ описаны в [1,2,3]. Сердечник статора (рис.1) состоит из шести модулей, число которых равно числу фазных зон. По длине сердечники статора и ротора машины разделены на две равные части с немагнитными прокладками между ними. Наличие немагнитных прокладок снижает осевую составляющую потока пазового рассеяния.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Применение новой конструкции привело к существенному изменению картины поля рассеяния обмотки статора в области паза. В АДАМ появляется новая составляющая потока

рассеяния осевого направления (рис.2). Эта составляющая появляется при смещении зубцовых наконечников соседних фазных зон разных половин сердечника навстречу друг другу и с их частичным перекрытием. Осовой поток в зубцовых наконечниках проходит поперек пакетов статора и ротора, что вызывает дополнительные потери мощности. Для уменьшения влияния этого потока между двумя половинами сердечника статора и ротора устанавливаются немагнитные прокладки толщиной 5-10 мм.

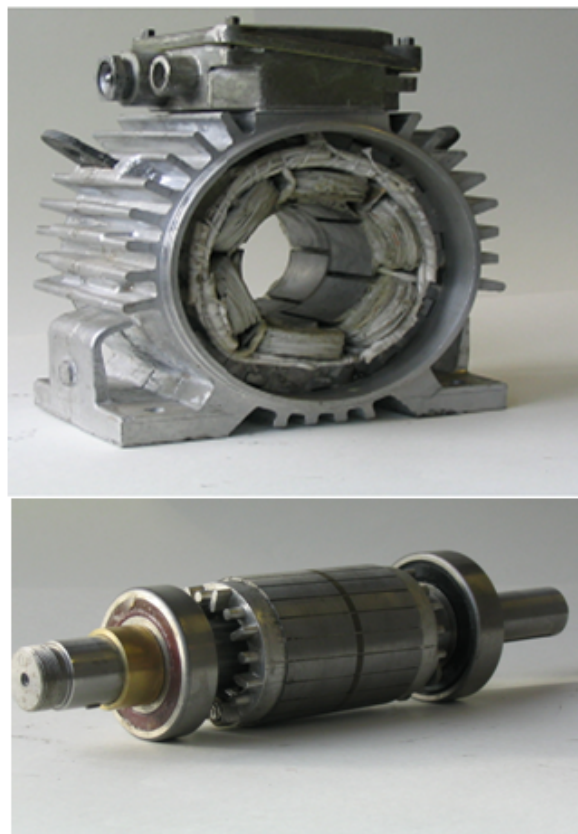


Рис. 1 – Статор и ротор опытного образца АДАМ, разработанного в ЗАО «Уралэлектромаш»

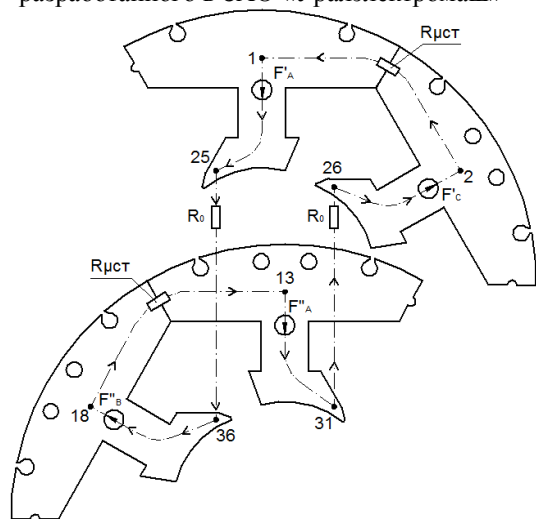


Рис. 2 – Путь, по которому замыкается осовая составляющая потока рассеяния.

С целью оценки величины осевого потока рассеяния по отношению к потоку взаимной индукции осуществляется расчет эквивалентной пространственной схемы замещения магнитной цепи (рис.3). Каждая из половин магнитной системы двигателя может быть представлена плоскими схемами замещения, составленными на основе традиционного подхода. Особенностью магнитной системы АДАМ является наличие зубцовых наконечников у модулей фазных зон каждой из половин сердечника статора, направленных в противоположные стороны. В результате возникают потоки рассеяния статора осевого направления, обусловленные частичным перекрытием зубцовых наконечников, принадлежащих разным фазным зонам половин магнитной системы двигателя. В связи с этим эквивалентная схема замещения представляет собой пространственную структуру, в которой связь половин между собой реализуется включением магнитных сопротивлений на пути прохождения потока осевого рассеяния между наконечниками зубцов соседних фаз, а также между спинками сердечников половин статора и ротора. При этом ветви магнитной цепи в осевом направлении должны учитывать наличие немагнитной прокладки.

С целью снижения размерности решаемой задачи возникла необходимость принять ряд допущений:

1. Магнитная система ненасыщенна.
2. Вал двигателя выполнен из немагнитного материала.

Данная схема замещения с учетом вышеупомянутых допущений разбивается на следующие участки: эквивалентный воздушный зазор; стыковой зазор и спинка сердечника между фазными зонами статора; сердечник ротора.

После разбиения магнитной цепи на участки мы получили общее количество узлов 36. В узлах осуществляется ответвление потока в осевом направлении.

Данная схема замещения решается с помощью метода узловых потенциалов, в котором за неизвестные принимают потенциалы узлов схемы. Для уменьшения количества неизвестных потенциал узла 24 принимаем равным нулю, тогда система будет содержать 35 уравнений.

Уравнения записываются в следующей форме:

$$\begin{aligned} \varphi_1 G_{11} + \varphi_2 G_{12} + \dots + \varphi_{n-1} G_{1,n-1} &= \Phi_{11} \\ \varphi_1 G_{21} + \varphi_2 G_{22} + \dots + \varphi_{n-1} G_{2,n-1} &= \Phi_{22} \\ \varphi_1 G_{n-1,1} + \varphi_2 G_{n-1,2} + \dots + \varphi_{n-1} G_{n-1,n-1} &= \Phi_{n-1,n-1} \\ &\dots \end{aligned} \quad (1)$$

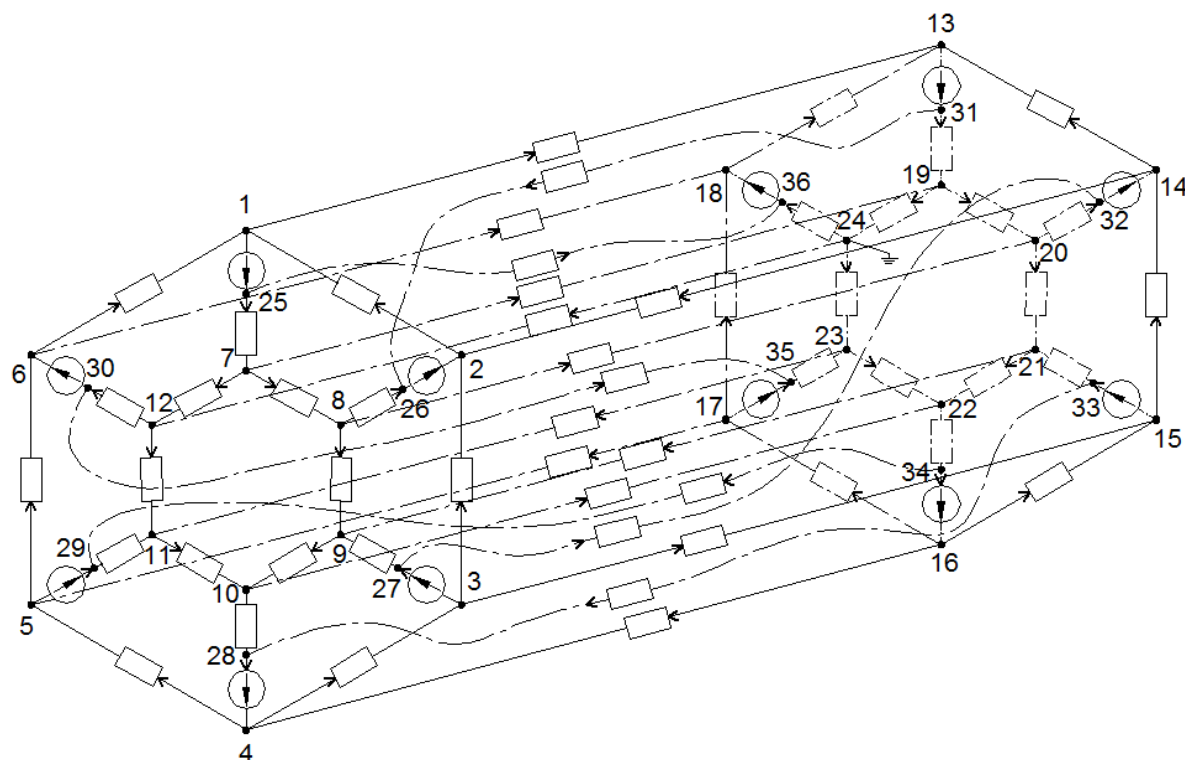


Рис. 3 – Эквивалентная пространственная схема замещения магнитной цепи АДАМ

Здесь G_{kk} – сумма проводимостей всех ветвей, сходящихся в узле k , G_{km} – сумма проводимостей ветвей, соединяющих узлы k и m , взятая со знаком минус, Φ_{kk} – узловой поток k -того узла, который равен алгебраической сумме потоков, полученных от деления МДС ветвей, подходящих к узлу, на сопротивления этих ветвей. В эту сумму с минусом входят потоки ветвей, МДС которых направлены от узла, и с плюсом потоки ветвей, МДС которых направлены к узлу.

Сопротивления в схеме изображаются с помощью индексов, численное значение которых соответствуют узлам схемы, между которыми включено сопротивление:

$R_{1,2}=R_{2,3}=R_{3,4}=R_{4,5}=R_{5,6}=R_{6,1}=R_{13,14}=R_{14,15}=R_{15,16}=R_{16,17}=R_{17,18}=R_{18,13}$ – эквивалентное магнитное сопротивление стыковых зазоров между модулями и участков ярма сердечника статора между фазными зонами;

$R_{7,8}=R_{8,9}=R_{9,10}=R_{10,11}=R_{11,12}=R_{12,7}=R_{19,20}=R_{20,21}=R_{21,22}=R_{22,23}=R_{23,24}=R_{24,19}$ – эквивалентное магнитное сопротивление участков ярма сердечника ротора;

$R_{1,7}=R_{2,8}=R_{3,9}=R_{4,10}=R_{5,11}=R_{6,12}=R_{13,19}=R_{14,20}=R_{15,21}=R_{16,22}=R_{17,23}=R_{18,24}$ – эквивалентное магнитное сопротивление фазной зоны по пути потока взаимной индукции с учетом эквивалентного воздушного зазора;

$R_{1,13}=R_{2,14}=R_{6,18}=R_{3,15}=R_{5,17}=R_{4,16}$ – эквивалентное магнитное сопротивление осевому потоку, замыкающемуся между ярами половин сердечника статора;

$R_{7,19}=R_{8,20}=R_{9,21}=R_{10,22}=R_{11,23}=R_{12,24}$ – эквивалентное магнитное сопротивление осевому потоку, замыкающемуся между ярами половин сердечника ротора;

$R_{1,18}=R_{2,13}=R_{3,14}=R_{4,15}=R_{5,16}=R_{6,17}$ – эквивалентное магнитное сопротивление перекрытия зубцовых наконечников соседних фаз.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Расчеты проводились для разных моментов времени для того, чтобы определить характер изменения осевой составляющей магнитного потока рассеяния (рис. 4).

Как показали расчеты, наибольшего значения осевой поток достигает при отсутствии немагнитных прокладок между сердечниками половин статора и ротора, в предположении, что магнитная проницаемость стали сердечника статора близка к бесконечности. В этом случае величина потока рассеяния по отношению к основному потоку составляет порядка 15%, что является существенным. Поток рассеяния будет индуцировать вихревые токи, вызывая дополнительные потери и нагрев, также будет

происходить увеличение индуктивного сопротивления рассеяния обмотки статора, которое в свою очередь приведет к ухудшению рабочих и пусковых характеристик электродвигателя. Для снижения осевой составляющей потока рассеяния необходимо установить немагнитную прокладку 5-10 мм (рис. 6). В этом случае величина осевого потока рассеяния составляет не более 1% от основного потока, что практически не сказывается на рабочих характеристиках машины, и не влияет на насыщение магнитной системы двигателя.

Важным результатом исследований является соотношение составляющих осевого потока рассеяния, проходящими между половинами сердечников в области спинок сердечников и между зубцовыми наконечниками: эти составляющие отличаются более, чем на порядок (рис. 5). Это позволяет сделать вывод, что осевой поток замыкается в основном по путям, изображенным на рисунке 2.

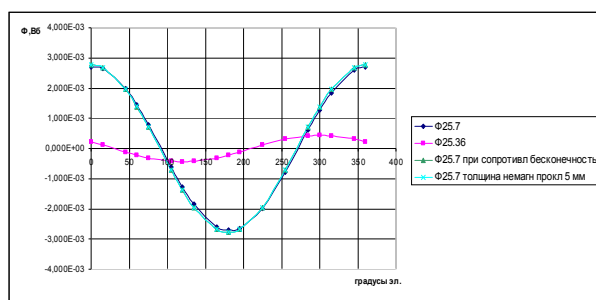


Рис. 4 – График распределения основного магнитного потока и осевой составляющей потока рассеяния.

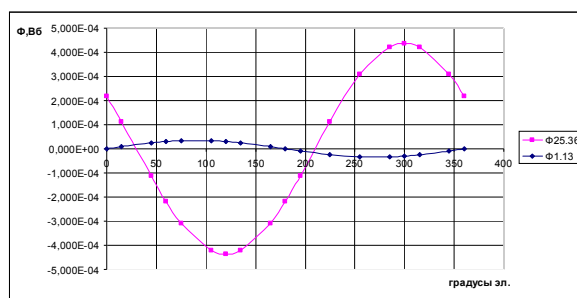


Рис. 5 – График распределения осевого потока, который проходит через сердечник статора и потока, который проходит между зубцовыми наконечниками соседних фазных зон

Разработанная математическая модель магнитной цепи АДАМ дает возможность выполнить оценку осевой составляющей магнитного потока рассеяния, его влияние на величину

результатирующего потока рассеяния обмотки статора и на насыщение магнитной системы АДАМ.

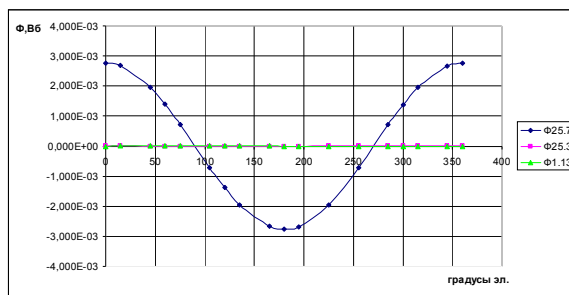


Рис. 6 – График распределения основного и осевых потоков при наличии немагнитной прокладки толщиной 5 мм.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бакубаев Б. Т. Особенности конструкции опытного образца асинхронного двигателя с асимметричным магнитопроводом / Б. Т. Бакубаев, В. И. Денисенко, А. Т. Пластун // Эффективное и качественное снабжение и использование электроэнергии: сборник докладов 3-ей Международной конференции в рамках выставки «Энергосбережение, отопление, вентиляция, водоснабжение» (Екатеринбург, 15-17 мая 2013 г.). - Екатеринбург: УрФУ, 2013. С. 164-167. ISBN 9785321022849.
2. Бакубаев Б.Т. Разработка высоко надежного асинхронного двигателя с асимметричным магнитопроводом для особых условий эксплуатации / Б.Т. Бакубаев, В.И Денисенко, А.Т. Пластун // Энерго- и ресурсо-сбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции и выставки работ студентов, аспирантов и молодых ученых 16– 19 декабря 2014 г. Екатеринбург: УрФУ, 2014, С.73-76.
3. Бакубаев Б.Т. Разработка асинхронного двигателя с асимметричным магнитопроводом с керамической изоляцией / Б.Т. Бакубаев, В.И Денисенко, А.Т. Пластун, В.Е. Недзельский // XV Международная конференция «Электромеханика, электротехнологии, электрические материалы и компоненты». Труды МКЭЭЭ-2014, г. Алушта, 21-27 сентября 2014г. С. 149 – 150.